

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 196 38 727 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁸:
G 01 B 11/00
G 01 M 11/08
G 06 T 17/20
A 61 C 19/04

②1 Aktenzeichen: 196 38 727.2
②2 Anmeldetag: 12. 9. 96
④3 Offenlegungstag: 19. 3. 98

DE 196 38 727 A 1

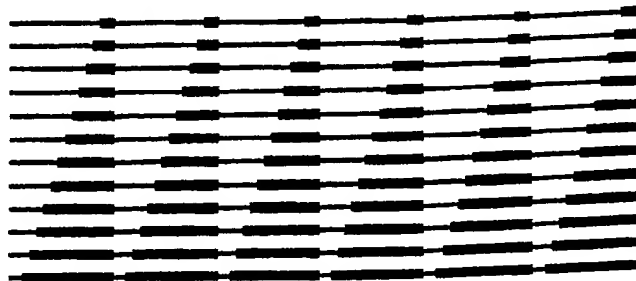
⑦1 Anmelder:
Rubbert, Rüdger, Dipl.-Ing., 12101 Berlin, DE

⑦2 Erfinder:
gleich Anmelder

TEST AVAILABLE COPY

⑤4 Verfahren zur Erhöhung der Signifikanz der dreidimensionalen Vermessung von Objekten

⑤7 Beschrieben wird ein Verfahren zur Erhöhung der Signifikanz der dreidimensionalen Vermessung von Objekten durch optische Aufnahmen, aufprojizierte Muster und Triangulationsberechnung, bei dem ein kodiertes Muster auf der Objekt zur Vermeidung von Mannigfaltigkeiten bei der Auswertung der Bilddaten projiziert wird. Dies ist insbesondere für die medizinische Diagnostik, Therapie und Dokumentation vorteilhaft.



DE 196 38 727 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 01. 98 802 012/403

7/25

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erhöhung der Signifikanz der dreidimensionalen Vermessung von Objekten durch optische Aufnahmen, aufprojizierte Muster und Triangulationsberechnung, bei dem ein kodiertes Muster auf das Objekt zur Vermeidung von Mannigfaltigkeiten bei der Auswertung der Bilddaten projiziert wird.

Zum Zweck der Vermessung bietet der Einsatz von Verfahren, die auf optischer Grundlage arbeiten, eine Vielzahl von Vorteilen. Eine Vermessung kann schnell und berührungslos erfolgen. Zum Stand der Technik gehören elektronische Bildwandler, beispielsweise CCD-Arrays, deren Ausgangssignale unmittelbar nach einer Digitalisierung gespeichert oder ausgewertet werden können.

Bekannt sind Verfahren und Vorrichtungen zur Darstellung und optischen dreidimensionalen Vermessung von räumlichen Oberflächen. Sie basieren auf Triangulationsverfahren, bei denen unter einem bekannten Winkel Punkt-, Linien- oder beliebige andere Muster auf die betrachtete Oberfläche projiziert werden und die projizierten Muster unter einem von dem Projektionswinkel verschiedenen Blickwinkel mit einer Optik und einem Bildwandler aufgenommen werden. Die bekannte Geometrie zwischen Projektionsrichtung und Aufnahme-richtung erlaubt die dreidimensionale Berechnung von Stützpunkten der Oberfläche.

Projiziert man auf ein Objekt mit räumlichen Erstreckungen beispielsweise ein gleichmäßiges Linienmuster, ergibt sich bei einer von der Projektionsrichtung verschiedenen Blickrichtung in Abhängigkeit von der Oberflächengestalt des Objekts ein verzerrtes Linienmuster. Bildet man aus dieser Betrachtungsrichtung das Objekt durch eine geeignete Optik auf ein CCD-Array ab, digitalisiert man die Bildsignale und stellt sie einer Datenverarbeitungseinheit zur Verfügung, so ist es möglich, an verschiedenen Stellen des Bildes die Linien zu identifizieren und bei Kenntnis des optischen Strahlengangs und unter Berücksichtigung der geometrischen Ausbildung des projizierten Linienmusters über Triangulation 3D-Koordinaten zu errechnen.

Bei einer einfachen räumlichen Ausbildung des Objekts können aufgrund des relativen Abstands der abgebildeten Linien zueinander inkrementelle Koordinaten berechnet werden.

Es ist jedoch bekannt, daß Höhenstufen in der zu vermessenden Oberfläche unter bestimmten geometrischen Bedingungen zu relevanten Meßfehlern führen können. Weist das Objekt bezüglich der Projektions- bzw. der Aufnahme-richtung Hinterschnidungen auf, so ist nicht ohne weiteres ersichtlich, ob es sich bei benachbarten Linien im Abbild tatsächlich auch um benachbart projizierte Linien handelt. Falls einzelne Linien nicht zur Darstellung gekommen sind, ist zudem nicht bekannt, wie viele Linien "verschluckt" worden sind. Als Hinterschnidungen sind hier Ausbildungen der dreidimensionalen Kontur zu verstehen, die infolge der Betrachtungs- oder der Projektionsrichtung durch Teile des Objekts selbst verdeckt und damit für eine Betrachtung oder Projektion nicht zugänglich sind.

In der europäischen Patentanmeldung 0 250 993 wird ein System zur Herstellung von Keramikinlays beschrieben, bei dem zum Vermessen der Kavität eines Zahnes eine optische 3D-Meßvorrichtung verwendet wird. Dort wird die Bedeutung einer "optimalen Sicht" aus zwei Gründen unterstrichen: — erstens —, um die

Aufnahmeeinheit hinsichtlich Sicht- und Projektionsrichtung derart auszurichten, daß mit einer einzigen Aufnahme die relevanten Oberflächensegmente des Objekts aufgenommen werden können und — zweitens —, um nicht aufgrund von Hinterschnidungen die 3D-Koordinaten fehlerhaft zu berechnen. In diesem Zusammenhang wird vorgeschlagen, die Linien aufgrund der partiell vorliegenden Kontrastinformation bei der Berechnung zu "gewichten". Dies kann jedoch bei einer hinsichtlich des Kontrasts unterschiedlichen Ausbildung der Oberflächenstruktur des Objekts die Wahrscheinlichkeit einer fehlerhaften Berechnung nur zum Teil minimieren.

Es gehört zum Stand der Technik, die aus Einzelbildern mit unterschiedlicher Aufnahme-richtung gewonnenen Teilinformationen über dreidimensionale Oberflächen anhand der 3D-Koordinaten übereinstimmender Oberflächensegmente mittels sogenannter "Matching-Algorithmen" zu einer Gesamtinformation zu kombinieren. Es ist offensichtlich, daß Mannigfaltigkeiten bzw. Unsicherheiten bezüglich der Richtigkeit der eingehenden Koordinaten eine sinnvolle numerische Berechnung verunmöglichen können, insbesondere wenn diese automatisch und online während des Aufnahmevorgangs vorgenommen werden soll.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, das Verfahren zur Erhöhung der Signifikanz der dreidimensionalen Vermessung von Objekten der eingangs beschriebenen Art zu schaffen, mit dem jeder Bereich des projizierten Musters in dem Aufnahmebild für sich betrachtet eindeutig identifiziert werden kann, ohne daß eine Stetigkeit der Oberfläche hinsichtlich der Betrachtungs- und Projektionsrichtung in der oben beschriebenen Art und Weise vorausgesetzt werden muß.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß bei dem Verfahren dadurch gelöst, daß die zum Zwecke der dreidimensionalen Vermessung von Objekten mit räumlichen Erstreckungen nach dem Triangulationsverfahren projizierten Musterbereiche derart kodiert sind, daß sich anhand eines partiellen Bildausschnitts die Zuordnung zu dem entsprechenden Bereich des projizierten Musters erkennen läßt. Aus der Kenntnis des Strahlengangs, der geometrischen Ausbildung des projizierten Musters und der Kenntnis der Lage des entsprechenden Muster-ausschnittes in der Bildaufnahme können mittels einfacher Triangulationsberechnung absolute 3D-Koordinaten bestimmt werden.

Wenn jetzt Teile des projizierten Musters in einen abgeschatteten Bereich fallen, so kann dennoch partiell das Muster identifiziert und eine exakte 3D-Berechnung ausgeführt werden. Zwar ist die dreidimensionale Vermessung der Oberfläche bezüglich des abgeschatteten Bereichs nicht möglich, aber für die anderen Bereiche aufgrund der eindeutigen Zuordnung der jeweiligen Musterpartien korrekt.

Es ist denkbar, daß die Ausbildung des kodierten Musters gegenüber einem einfachen Streifenmuster unter Umständen die Anzahl der berechenbaren 3D-Informationen reduziert. Bewegt man jedoch mit geringer Geschwindigkeit die Aufnahmeeinheit gegenüber dem Objekt und nimmt währenddessen eine Folge unterschiedlicher Einzelbilder auf, so können durch geeignete Kombination der den Einzelbildern zugeordneten Informationen die 3D-Informationen verdichtet als auch sukzessive vervollständigt werden; sei es, um die aufgrund von Hinterschnidungen in Einzelbildern fehlenden Informationen zu ergänzen; sei es um größere Objekte darzustellen, als dies aufgrund der Begrenzungen des Sicht-

felds der Aufnahmeeinheit in einer Einzelaufnahme möglich ist.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren können in dem vorstehend beschriebenen Sinne Mannigfaltigkeiten bei der Triangulationsberechnung vermieden und die Signifikanz dieser Berechnungen erhöht werden.

"Kodiert" sind im Sinne dieser Erfindung Bereiche des aufprojizierten Musters, die hinsichtlich ihrer geometrischen Ausbildung und/oder Erstreckung und/oder ihrer sonstigen beispielsweise farbigen Ausgestaltung signifikant unterscheidbar sind.

Wird als Muster für die Projektion ein Linienmuster verwendet, erhält man für die 3D-Berechnung relevante Informationen, wenn die Linien mit einer wesentlichen Komponente quer zu der von der zwischen Blick- und Projektionsrichtung aufgespannten Ebene gestreift sind.

Bei Verwendung eines Linienmusters können die Linien erfindungsgemäß vorteilhaft z. B. durch Variation der Strichstärke innerhalb der jeweiligen Linie kodiert werden. Hierbei können binäre, andere diskrete und analoge Kodierungen zum Einsatz kommen.

Werden beispielsweise — erstens — helle Linien auf das Objekt projiziert, liegen — zweitens — die Kontrastdaten der digitalisierten Bildinformationen im Speicher einer Datenverarbeitungseinheit flächig vor, sind also in Zeilen und Spalten organisiert und repräsentieren — drittens — die Spaltendaten beispielsweise die Bildinformationen in Richtung der Ebene, die zwischen Aufnahme- und Projektionsrichtung aufgespannt wird, kann die automatisierte Auswertung der Daten in einem geeigneten Algorithmus zum Zwecke der Berechnung der absoluten 3D-Koordinaten derart erfolgen, daß die Kontrastdaten entlang einer Bildspalte auf die Übereinstimmung mit der Musterfolge dunkel/heill/dunkel überprüft werden. Hierfür sind die entsprechenden statistischen und numerischen Methoden wie Kreuzkorrelation, Wiener-Filter etc. auch für die Subpixelauswertung bekannt.

Ist nun die Spaltenstelle der Musterübereinstimmung bekannt, das heißt, hat man eine Linie identifiziert, kann über Kantenverfolgung der Verlauf und die Ausbildung der Linie in den benachbarten Spalten untersucht werden. Mit den zum Stand der Technik gehörenden Methoden der Mustererkennung kann damit die Linie selbst bezüglich ihrer Ausbildung und damit ihrer Kodierung untersucht werden.

Im Ergebnis ist — erstens — die Spaltenstelle bekannt, an der die Linie mit ihrem Musterschwerpunkt aufgenommen wurde und — zweitens — das entsprechende Liniensegment dekodiert; somit läßt sich das Liniensegment eindeutig zur entsprechenden Musterstelle in dem unverzerrten und zur Projektion gekommenen Muster zuordnen. Aus diesen Informationen kann über Triangulationsberechnung die 3D-Koordinate für einen entsprechenden Punkt der betrachteten Oberfläche des Objekts bestimmt werden.

Identifiziert man nun in der beschriebenen Art und Weise sowohl die anderen Linien in derselben Spalte und führt man dieses Verfahren auch in anderen Spalten durch erhält man eine Anzahl von Koordinaten, die sämtlich einzelnen Punkten auf der Oberfläche des Objekts entsprechen. Derartige sogenannte "Punktewolken", mit denen die Ausbildung von Oberflächen beschrieben wird, sind in der Technik bekannt. Die weitere Datenverarbeitung von Punktewolken beispielsweise zur Bildung von Gitternetzstrukturen oder von Flächensegmenten gehört ebenfalls zum Stand der Tech-

nik.

Insbesondere bei medizinischen Anwendungen ermöglicht die mit vorstehendem Verfahren mögliche exakte dreidimensionale digitale Beschreibung der Verzichte auf räumliche Abformungen (wie z. B. Gipsabdrücken) zur Dokumentation von Befunden dreidimensionalen Inhalts oder zur computergestützten Anfertigung von therapeutischen Mitteln (wie z. B. Zahnschienen, Zahnersatz, Implantate).

Es ist erfindungsgemäß vorteilhaft, entlang der jeweils betrachteten Linie abwechselnd Segmente mit einfacher und doppelter Strichstärke anzuordnen. Werden beispielsweise zudem jeweils kurze und lange Liniensegmente verwendet, können aus der Variation kurzer und langer Liniensegmente mit einfacher oder doppelter Strichstärke entlang einer Linie analog zum Morsealphabet die Linien unterschiedlich kodiert werden. Wenn jetzt Linien in einen abgeschatteten Bereich fallen, so kann dennoch für jedes einzelne sichtbare Liniensegment, das die vollständige Kodierung enthält, eine Berechnung absoluter 3D-Koordinaten ausgeführt werden, ohne daß hierfür Informationen bezüglich anderer Linien oder Linienabschnitte erforderlich sind.

Es ist erfindungsgemäß vorteilhaft, in bestimmten Musterausschnitten in geometrisch eindeutiger Anordnung beispielsweise den schwarz/weiß-Anteil zu variieren, um aus dem jeweiligen Verhältnis schwarz zu weiß die Musterpartie von anderen unterscheiden zu können. Erfindungsgemäß besonders vorteilhaft können die Segmente mit unterschiedlichem Schwarzanteil linear oder konzentrisch angeordnet werden.

Es ist erfindungsgemäß vorteilhaft, in bestimmten Musterausschnitten Unterbrechungen der Linien anzuordnen und durch unterschiedliche Ausgestaltung dieser Unterbrechungen die Musterteile zu variieren.

Alternativ oder zusätzlich zu einer schwarz/weiß-Ausbildung des Musters kann erfindungsgemäß besonders vorteilhaft eine Farbkodierung des Musters vorgenommen werden. Bei Verwendung von Linien als Muster kann erfindungsgemäß vorteilhaft beispielsweise jede Linie in einer unterschiedlichen Farbe ausgeführt werden. Dadurch bleibt die Informationsdichte je Linie vollständig erhalten; dennoch ist jede Linie eindeutig zu identifizieren, sofern der Farbgehalt der aufgenommenen Oberfläche eine solche Unterscheidung zuläßt.

Unter "Farbe" wird im Sinne dieser Erfindung eine Auswahl von Spektrallinien und Spektralbereichen des sichtbaren, infraroten und/oder ultravioletten Lichts verstanden. Im Sinne dieser Definition ist es unerheblich, ob die Farbe durch Erzeugung bestimmter Spektren oder Spektralbereiche und gegebenenfalls durch additive Farbmischung gebildet oder durch Absorption und gegebenenfalls subtraktive Farbmischung aus einem breiteren Spektrum gefiltert wird.

"Schwarz" wird im Sinne dieser Erfindung synonym für im wesentlichen unbeleuchtet und/oder für im wesentlichen ohne Rückstrahl- oder Durchstrahlkomponente aufgrund von Absorption verwendet.

"Weiß" wird im Sinne dieser Erfindung synonym für mit breitem Spektralband beleuchtet und für mit Rückstrahl- oder Durchstrahlkomponente mit breitem Spektralband verwendet.

Sämtliche in dieser Erfindung beschriebenen Ausgestaltungen des Verfahrens können erfindungsgemäß besonders vorteilhaft in vielfältiger Art und Weise miteinander kombiniert werden.

Weitere Vorteile, Merkmale und Anwendungsmöglichkeiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus

der folgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele in Verbindung mit der anliegenden Zeichnung.

Es zeigt die anliegende Zeichnung in den Figuren Fig. 1 und 2 Ausführungsformen von kodierten Mustern zur Durchführung von optischen Aufnahmen zum Zwecke der dreidimensionalen Vermessung von Objekten durch aufprojizierte Muster und Triangulationsberechnungen nach der Erfindung, teilweise schematisiert.

In dem in Fig. 1 gezeigten Linienmuster ist die Strichstärke entlang der jeweiligen Linie in regelmäßig wiederholter Folge abwechselnd in einfacher oder doppelter Breite (Strichstärke) dergestalt ausgeführt, daß in einem definierten Linienabschnitt das Längenverhältnis der Stücke mit einfacher und doppelter Strichstärke von Linie zu Linie unterschiedlich ausgebildet ist. In analoger Anwendung der in der Signalverarbeitung üblichen Ausdrucksweise kann man mit anderen Worten in diesem Zusammenhang von einem unterschiedlichen schwarz/weiß-Tastverhältnis innerhalb der Periodizität des Musters sprechen.

Die in Fig. 1 gezeigte Ausführungsform zeichnet sich zusätzlich zu der Kodierung der Musterteile dadurch aus, daß aufgrund der besonderen Ausbildung des Musters eine hohe Dichte der berechenbaren Stützpunkte erreicht werden kann.

In Fig. 2 wird eine Anordnung von konzentrischen Musterelementen gezeigt wobei die einzelnen Elemente dergestalt kodiert sind, daß — erstens — der innere Kreis in 90°-Segmenten unterschiedlich geschwärzt ist, — zweitens — der äußere konzentrische Ring in 90°-Segmenten unterschiedlich geschwärzt ist und — drittens — die Winkelstellung des äußeren konzentrischen Ringmusters zur übergeordneten Elementanordnung unterschiedlich ausgebildet ist. Die in Fig. 2 gezeigte Ausführungsform zeichnet sich zusätzlich zu der Kodierung der Musterteile dadurch aus, daß

- a) durch die drei genannten Möglichkeiten der unterschiedlichen Ausbildung des einzelnen Musterelements eine hohe Signifikanz der Kodierung erreicht werden kann und insofern
- b) eine große Anzahl von Elementen sicher unterschieden werden können, beziehungsweise
- c) redundante Informationen zu Prüfzwecken dargestellt werden können,
- d) sich die konzentrische Ausbildung der Musterelemente für die automatische Mustererkennung eignet und
- e) sich der innere Kreis in seinen unterschiedlichen Ausbildungen für die exakte Bestimmung der Stelle im verzerrten Abbild des projizierten Musters mittels Mustererkennungsalgorithmen eignet.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erhöhung der Signifikanz der dreidimensionalen Vermessung von Objekten durch optische Aufnahmen, aufprojizierte Muster und Triangulationsberechnung, **dadurch gekennzeichnet**, daß verschiedene Bereiche des aufprojizierten Musters eine unterschiedliche Ausbildung aufweisen und damit kodiert sind.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Muster aus mindestens zwei geometrischen Elementen zusammengesetzt ist, die durch unterschiedliche Ausbildung kodiert sind.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei den unterschiedlich ausge-

bildeten geometrischen Elementen um Elemente mit im wesentlichen linearer Erstreckung handelt.

4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei den unterschiedlich ausgebildeten geometrischen Elementen um Elemente mit im wesentlichen konzentrischer Erstreckung handelt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die unterschiedlich ausgebildeten Bereiche des Musters Unterschiede hinsichtlich der Ausbildung der Strichstärke aufweisen und dadurch kodiert sind.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die unterschiedlich ausgebildeten geometrischen Elemente des Musters Unterschiede durch Unterbrechung aufweisen und dadurch kodiert sind.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die unterschiedlich ausgebildeten Bereiche des Musters Unterschiede hinsichtlich der Farbgestaltung und/oder des schwarz/weiß-Gehalts aufweisen und dadurch kodiert sind.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß aus der Bildinformation 3D-Koordinaten von jeweils mindestens einem Punkt aus mindestens zwei Bereichen der Oberfläche des aufgenommenen Objekts berechnet werden, auf die während der Aufnahme unterschiedlich kodierte Bereiche des Musters projiziert worden sind.

9. Verwendung der Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 für die medizinische Diagnostik, Therapie oder Dokumentation.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

Fig. 1

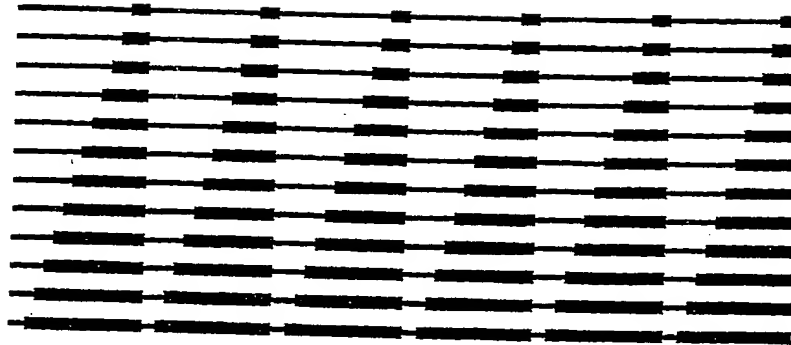
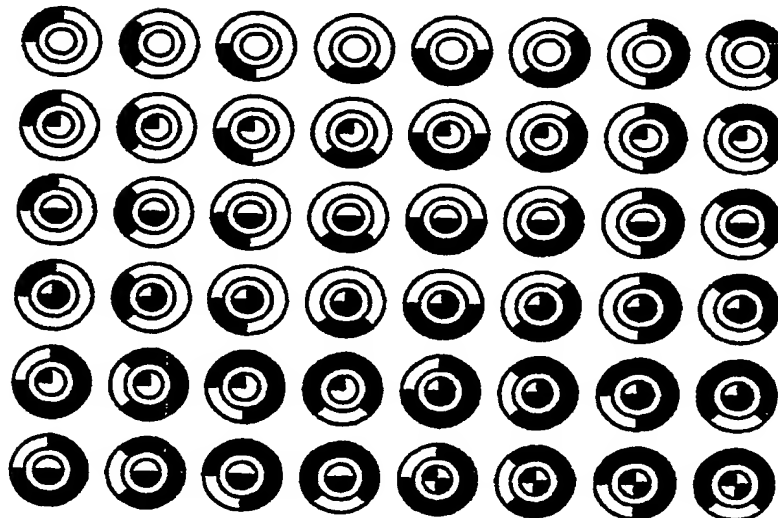


Fig. 2



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USE